

**TABLAS VOLUMÉTRICAS PARA
YESQUERO BLANCO (*Cariniana ianeirensis*),
OCHOÓ (*Hura crepitans*) Y
SAÚCO (*Zanthoxylum* sp.) EN BOLIVIA**

Documento Técnico 116/2003

Andrea Harausz

Consultora

Contrato USAID: 511-C-00-93-00027

Chemonics International Inc.

USAID/Bolivia

Abril, 2003

Objetivo Estratégico de Medio Ambiente (USAID/Bolivia)

**TABLAS VOLUMÉTRICAS
PARA YESQUERO BLANCO
(*Cariniana ianeirensis*),
OCHOÓ (*Hura crepitans*)
Y SAÚCO (*Zanthoxylum* sp.)
EN BOLIVIA**

***Proyecto de Manejo
Forestal Sostenible
BOLFOR***

Cuarto Anillo
esquina Av. 2 de Agosto
Casilla 6204
Teléfonos: 3-480766 – 3-480767
Fax: 3-480854
e-mail: bolfor@bibosi.scz.entelnet.bo
página web: <http://bolfor.chemonics.net>

Santa Cruz, Bolivia

Tabla de Contenido

SECCION I	INTRODUCCIÓN Y AREA DE ESTUDIO	I-1
	A. Introducción	I-1
	B. Area de Estudio	I-1
SECCION II	RECOLECCIÓN DE DATOS, CUBICACIÓN DE TROZAS Y TABLAS DE VOLUMEN	II-1
	A. Recolección de datos	II-1
	B. Cubicación de las trozas	II-2
	C. Tablas de volumen locales	II-3
	C1. <i>C. ianeirensis</i>	II-4
	C2. <i>H. Crepitans</i>	II-5
	C3. <i>Zanthoxylum</i> sp.	II-6
SECCION III	DESPERDICIOS DE MADERA	III-1
	A. Porcentaje de corteza	III-1
	B. Desperdicios durante el aprovechamiento	III-2
	C. Desperdicios en el aserradero	III-3
	D. Desperdicios y rendimiento total	III-4
	E. Análisis adicionales	III-5
	E1. Factores de forma	III-5
SECCION IV	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	IV-1
	A. Tablas volumétricas	IV-1
	B. Desperdicio de volumen	IV-1
SECCION V	ANEXOS	

SECCION I

Introducción y Area de Estudio

A. Introducción

En la Sección II del presente estudio, se pretende desarrollar tablas volumétricas locales para tres especies forestales con base en mediciones del DAP de árboles en pie y mediciones de sus trozas en rodeo, incluyendo trozas desechadas. También se desea determinar la cantidad de desperdicios de los troncos. Este volumen desechado sirve, por una parte, para establecer con exactitud las tablas volumétricas y, por otra, permite cuantificar los porcentajes de desperdicio de madera e identificar las diferentes razones del desperdicio durante las diferentes etapas de producción.

En la Sección III de este trabajo se tiene previsto calcular porcentajes de desperdicios de madera y cuantificar las diferentes razones de desecamiento durante el procesado de la madera, con base en las mediciones de desperdicios en el bosque y rodeo, mediciones del volumen de corteza, y datos proporcionados por la empresa sobre el rendimiento del proceso de aserrío.

B. Area de estudio

El presente estudio fue realizado en dos concesiones forestales de la Empresa Agroindustrial La Chonta Ltda. La concesión forestal La Chonta ($15^{\circ} 47'S$, $62^{\circ} 55'W$) se encuentra en la región de Guarayos aproximadamente 31 km al norte de Ascensión de Guarayos en el departamento de Santa Cruz. La concesión tiene una superficie de 100.000 ha. La temperatura media anual en la región de Guarayos es de $25,3^{\circ}C$ y la media anual de precipitación alcanza los 1562 mm. De acuerdo a Holdrige, el sitio ha sido clasificado como bosque húmedo subtropical.

La concesión Lago Rey ($14^{\circ} 16'S$, $62^{\circ} 11'W$) está ubicada en la región del Bajo Paraguá en el departamento de Santa Cruz. Esta abarca una superficie de 120.000 ha. La temperatura media anual oscila entre 24 y $26^{\circ}C$. La media anual de precipitación es de 1600 mm aproximadamente. Según la clasificación de Holdridge, el bosque en Lago Rey corresponde al tipo de bosque húmedo siempre verde a subtropical húmedo.

SECCION II

Recolección de Datos, Cubicación de Trozas y Tablas de Volumen

A. Recolección de datos

En total fueron estudiadas tres especies arbóreas:

Yesquero blanco (<i>Cariniana ianeirensis</i>)	en la concesión La Chonta
Ochoó (<i>Hura crepitans</i>)	en la concesión La Chonta y
Sauco (<i>Zanthoxylum</i> sp.)	en la concesión Lago Rey.

Los datos fueron recabados durante las actividades de aprovechamiento de la empresa. Los parámetros necesarios para la elaboración de tablas volumétricas y para el cálculo de porcentajes de desperdicios fueron medidos en todas las troncas aprovechadas de las tres especies.

En conjunto se midieron 120 individuos de *Zanthoxylum* sp., 99 individuos de *C. ianeirensis* y 42 individuos de *H. crepitans* durante los trabajos de aprovechamiento.

Los siguientes parámetros fueron medidos para cada individuo:

1. Código del árbol
2. DAP
3. Trozas aprovechables
 - número de la troza
 - largo (L) de la troza
 - diámetro (D) en la base de la troza (media de dos mediciones en forma de cruz)
 - diámetro (d) en la punta de la troza (media de dos mediciones en forma de cruz)
4. Trozas no aprovechables (en parte troncas enteras)
 - razón que determinó su desecho
 - largo (L) de la troza
 - diámetro (D) en la base de la troza (media de dos mediciones en forma de cruz)
 - diámetro (d) en la punta de la troza (media de dos mediciones en forma de cruz)

En el caso de madera aprovechable, los diámetros fueron medidos con y sin corteza. En el caso de *Zanthoxylum* sp. y *H. crepitans* también se midió el diámetro del duramen. En las trozas desechadas sólo se midieron los diámetros con corteza. Además de los datos recabados en el bosque y en los rodeos, se consideraron también datos proporcionados por la empresa respecto al rendimiento en el aserradero, con el fin de poder calcular los porcentajes de desperdicio durante este paso productivo.

El rendimiento del aserradero se define como el volumen de los productos del aserradero en relación al volumen de las trozas aprovechables sin corteza. En el caso de *C. ianeirensis* y de *H. crepitans* los rendimientos del aserradero La Chonta fueron calculados sobre la base de 7 y 12 días de producción respectivamente. Del aserradero Lago Rey se obtuvieron datos de 12 días para la especie *Zanthoxylum* sp.

B. Cubicación de las trozas

El volumen de un árbol se obtiene al sumar los volúmenes de todas sus trozas. En el presente trabajo el volumen de un árbol se define como la masa de madera que aflora sobre la tierra con un diámetro igual o mayor a 45 cm excluyendo el tocón. Según esta definición el volumen de un árbol puede incluir al volumen de trozas no aprovechables.

Para calcular el volumen de una troza se usó la siguiente fórmula de Smalian:

$$v = \frac{B + b}{2} * L$$

donde

- B = $B = \frac{p}{4} * D^2$ superficie en la base de la troza,
 b = $b = \frac{p}{4} * d^2$ superficie en la punta de la troza,
 L = largo de la troza.

Cuadro 1. Datos generales sobre la estructura de los datos recabados

Datos generales	<i>C. ianeirensis</i>	<i>H. crepitans</i>	<i>Zanthoxylum</i> sp.
	promedio <i>n</i> (C.V. en %)	promedio <i>n</i> (C.V. en %)	promedio <i>n</i> (C.V. en %)
Trozas por árbol	5,8 81 (24)	5,5 32 (24)	3,6 100 (25)
Largo de la troza [m]	2,5 510 (19)	2,6 210 (20)	3,7 458 (32)
Largo del tronco [m]	14,6 97 (23)	13,4 42 (22)	13,7 121 (19)
Volumen del árbol [m³]	5,6 81 (40)	11,8 31 (56)	3,4 93 (34)
Duramen [% del volumen del árbol sin corteza]	- - -	62 163 (16)	72 243 (9)

C. Tablas de volumen locales

Las tablas volumétricas locales se elaboran sobre la base de funciones de volumen locales. Una función de volumen local representa el volumen de un árbol (variable dependiente) como una función del DAP (variable independiente) y se obtiene con base en una regresión entre el volumen y el DAP de una determinada cantidad de árboles medidos. Usando este método se derivaron varias ecuaciones de regresión para cada una de las especies arbóreas. Los siguientes tres modelos mostraron para cada especie las mejores características y fueron, por lo tanto, escogidos para analizar:

- Lineal (usando el área basal del árbol como variable independiente):

$$V = b_0 + b_1 * b$$

- Parabólico: (usando el diámetro y el diámetro al cuadrado como variables independientes)

$$V = b_0 + b_1 * d + b_2 * d^2$$

- Logarítmico-lineal: (usando el diámetro como variable independiente)

$$\ln V = b_0 + b_1 \ln d$$

donde

V	=	volumen del árbol
d	=	DAP
b	=	área basal del árbol a 1,3 m de altura

Para decidir cual de los tres modelos describe mejor la relación entre volumen y DAP (en el caso del modelo lineal se usó el área basal en vez del DAP), los mismos fueron comparados entre sí, usando cinco criterios.

Mediante el Test de F en el análisis de varianza se probó si la relación entre la variable independiente y la variable dependiente es aleatoria o significativa. El siguiente paso fue la construcción de gráficos de residuos generados por el modelo para verificar la homogeneidad de la distribución de los mismos; vale decir, determinar si el modelo estima con igual precisión en todo su rango de definición. El grado de ajuste del modelo fue verificado con el coeficiente de determinación (r^2). Hradetzky (1978) advierte sobre el uso del coeficiente de determinación para la evaluación de modelos como instrumento de decisión problemático en aplicaciones forestales. Por esta razón, se utilizó adicionalmente la desviación relativa promedio entre los valores

estimados por el modelo y los valores medidos. El mismo representa el promedio de todas las desviaciones individuales, calculadas como porcentaje del valor estimado. Como último criterio de evaluación se usó el Índice de Furnival. Este es un índice desarrollado por Furnival (1961) para la comparación de funciones con variables dependientes de distinta índole (ej. comparación de modelos transformados en forma aritmética o logarítmica).

C1. *C. ianeirensis*

Las ecuaciones de regresión para *C. ianeirensis* fueron calculadas con base en los volúmenes y DAP de 81 árboles. Los siguientes tres modelos fueron elaborados:

- Lineal (con el área basal del árbol como variable independiente):

$$V = - 0,49 + 10,90 * b$$

- Parabólico:

$$V = - 1,56 + 2,60 * d + 7,03 * d^2$$

- Logarítmico–lineal:

$$\ln V = - 8,47 + 2,29 * \ln d$$

Para escoger al mejor modelo, los resultados fueron comparados usando los siguientes criterios: análisis de varianza (Test de F), coeficiente de determinación (r^2), gráfico de residuos, desviación relativa promedio entre los valores estimados por el modelo y los valores medidos (desviación \emptyset rel.), e Índice de Furnival.

Cuadro 2. Valores de los criterios de comparación para *C. ianeirensis*

<i>C. ianeirensis</i>	Tipo de modelo		
	<i>Lineal</i>	<i>Parabólico</i>	<i>Logarítmico-lineal</i>
Test de F (Prob>F)	0,0001	0,0001	0,0001
R ²	0,77	0,77	0,79
Desviación \emptyset rel.	15,24	15,07	10,33
Índice de Furnival	1,11	1,12	1,05

Comparando los cinco modelos, el modelo logarítmico-lineal tiene las mejores cualidades. Este modelo presenta la menor desviación, tanto del Índice de Furnival como del desvío \emptyset rel.. Al mismo tiempo este modelo tiene el mayor R². La calidad decisiva de este modelo es, sin embargo, la homogeneidad de la variación de sus residuos.

Por las razones mencionadas arriba, la función logarítmica-lineal fue usada para elaborar las tablas volumétricas. Se tiene que tener en cuenta que este tipo de funciones tienden a subestimar los resultados. El rango de definición de la función de regresión se encuentra entre 3,99 y 4,75 ln(m). Esto equivale a valores de DAP entre 54 y 116 cm. La extrapolación, es decir el uso de la función fuera del rango de definición, fue llevada a cabo entre 45 y 54 cm, así como entre 116 y 124 cm. En las tablas volumétricas estos valores se encuentran en letra cursiva.

C2. *H. crepitans*

Las funciones de regresión para *H. crepitans* fueron calculadas sobre la base de valores de volumen y DAP de 31 árboles. Las tres funciones de regresión tienen las siguientes características:

- Lineal:

$$V = - 2,19 + 12,04 * b$$

- Parabólica:

$$V = 5,09 - 11,37 * d + 13,70 * d^2$$

- Logarítmica-lineal:

$$\ln V = - 8,31 + 2,24 * \ln d$$

Según al resultado de la prueba ANOVA (análisis de varianza) los tres modelos muestran niveles significativos de regresión.

Cuadro 3. Valores de los criterios de comparación para *H. crepitans*

<i>H. crepitans</i>	Tipo de modelo		
	<i>Lineal</i>	<i>Parabólico</i>	<i>Logarítmico-lineal</i>
Test de F (Prob>F)	0,0001	0,0001	0,0001
R ²	0,91	0,92	0,87
Desvío Ø rel.	13,69	12,66	5,76
Índice de Furnival	1,96	1,94	1,85

Al igual que para la especie anterior, el modelo logarítmico-lineal presenta la menor desviación, tanto del Índice de Furnival como del desvío Ø rel.. Al mismo tiempo su R² (0,87) es menor al de los otros dos modelos. Considerado esto y el hecho que el modelo logarítmico -lineal subestima el volumen real, este modelo fue descartado.

El coeficiente de determinación más alto lo presentó el modelo parabólico. Este modelo mostró valores mas bajos en el Índice de Furnival y en el desvío \emptyset rel. en comparación con el modelo lineal.

Para elaborar las tablas volumétricas se usó el modelo parabólico. El rango de definición de la función de regresión se encuentra entre 0,80 y 1,99 m. Esto equivale a un DAP entre 80 y 199 cm. La extrapolación fue llevada a cabo entre los DAP 70 y 80 cm así como entre DAP de 199 a 209 cm. En las tablas volumétricas estos valores se encuentran en letra cursiva.

C3. *Zanthoxylum* sp.

Las funciones de regresión para *Zanthoxylum* sp. fueron calculadas sobre la base de 93 árboles.

- Lineal (con el área basal del árbol como variable independiente):

$$V = - 0,24 + 10,86 * b$$

- Parabólica:

$$V = 5,26 - 16,56 * d + 20,77 * d^2$$

- Logarítmica-lineal:

$$\ln V = - 7,49 + 2,08 * \ln d$$

Según al resultado de la prueba ANOVA los tres modelos muestran niveles significativos de regresión. Esto quiere decir que, en los tres casos, el modelo explica la mayor parte de la variación.

Comparando las características de los tres modelos para *Zanthoxylum* sp. (Cuadro 4), se escogió el modelo parabólico como base para elabora las tablas volumétricas. Cabe mencionar que el modelo logarítmico-lineal tiene menores valores del Índice de Furnival así como menores valores de desvío \emptyset rel.. La diferencia es sin embargo mínima. Por lo tanto se escogió el modelo parabólico por ser libre de sesgo.

Cuadro 4. Valores de los criterios de comparación para *Zanthoxylum* sp.

<i>Zanthoxylum</i> sp.	Tipo de modelo		
	<i>Lineal</i>	<i>Parabólico</i>	<i>Logarítmico – lineal</i>
Test de F (Prob>F)	0,0001	0,0001	0,0001
R ²	0,74	0,75	0,69
Desvío \emptyset rel.	14,25	14,22	13,57
Índice de Furnival	0,59	0,58	0,57

El rango de definición de la función de regresión se encuentra entre 0,50 y 0,90 m. Asimismo, se calcularon valores entre 0,40 y 0,50 así como entre 0,90 y 1 m. Los valores obtenidos por extrapolación se encuentran en letra cursiva en las tablas volumétricas.

Usando las funciones de regresión escogidas para cada especie, fueron calculados los volúmenes para cada clase diamétrica (1 cm). Posteriormente, fueron elaboradas dos tablas volumétricas para cada especie, donde se ponen en relación el DAP y el volumen. En una de las tablas el volumen incluye la corteza y en la otra tabla no. El volumen sin corteza se obtiene descontando del volumen con corteza, el porcentaje de corteza específico para cada especie.

Los valores calculados con las funciones de regresión son sólo válidos estrictamente entre el valor mayor y menor de x. Es decir, entre el diámetro mayor y menor medido durante la fase de campo. Pero, para las tablas volumétricas, las funciones también fueron aplicadas a diámetros mayores o menores a los obtenidos durante la fase de campo. En estos casos se trata de extrapolaciones de hasta 10 cm por encima y por debajo de los valores mayores y menores obtenidos. En las extrapolaciones la probabilidad de presentarse errores es mayor. Por esta razón, en las tablas volumétricas estos valores son presentados con letra diferente.

SECCION III

Desperdicios de Madera

En el presente trabajo se define como desperdicios al volumen de madera que causa costos para la empresa (costos de tumbar, de cortes de saneamiento, de transporte etc.) y que no puede ser aprovechado.

Las siguientes razones de desperdicio fueron consideradas:

1. corteza,
2. desperdicios durante el aprovechamiento,
3. desperdicios en el aserradero.

Los desperdicios de volumen durante el aprovechamiento se originan tanto en el bosque, como en el rodeo. Se pueden diferenciar tres razones de desperdicios durante el aprovechamiento: enfermedad, deficiencia de forma y dimensiones insuficientes.

En el caso de desperdicios por enfermedad se trata de trozas podridas o huecas. En cuanto a deficiencia de forma, para la empresa una troza pierde valor si lleva una o más fallas, las cuales pueden ser gajos, bifurcaciones o curvaturas del tronco. Por último, se considera dimensiones insuficientes a las trozas o los troncos con diámetros menores a 45 cm o las trozas que no cuentan un porcentaje económicamente interesante de duramen.

A. Porcentaje de corteza

El porcentaje de corteza, en relación al volumen del árbol, fue establecido mediante la siguiente fórmula:

$$V_C \% = \frac{(\sum v_{Ci} - \sum v_{Si})}{\sum v_{Ci}} * 100$$

donde

- $V_C \%$ = porcentaje de corteza en % del volumen con corteza,
 v_{Ci} = volumen de la troza i con corteza,
 v_{Si} = volumen de la troza i sin corteza.

Cuadro 5. Porcentaje de corteza y su variación de acuerdo a especie

Porcentaje de corteza	<i>C. ianeirensis</i>	<i>H. crepitans</i>	<i>Zanthoxylum sp.</i>
V_C %	19,00	13,52	9,95
(C.V. [%])	(17)	(20)	(19)

B. Desperdicios durante el aprovechamiento

Las razones que ocasionan desperdicios en bosque y rodeo son enfermedad, deficiencia de forma y dimensiones. Las trozas desechadas fueron medidas con corteza y, consiguientemente, los volúmenes en estos casos fueron calculados con corteza. Pero del volumen perdido se descontó el porcentaje de corteza para impedir una doble consideración de la misma (tanto en el caso de razón de desperdicio por corteza como en el caso de desperdicios durante el aprovechamiento).

Cuadro 6. Desperdicios durante el aprovechamiento, de acuerdo a especie y razón de desperdicio

	<i>C. ianeirensis</i>	<i>H. crepitans</i>	<i>Zanthoxylum sp.</i>
S desperdicios aprovechamiento (% del volumen del árbol)	15,3	6,7	7,3
(% de S desperdicios aprovechamiento)	(\cong 100%)	(\cong 100%)	(\cong 100%)
Enfermedad (% del volumen del árbol)	13,0	3,2	5,9
(% de S desperdicios aprovechamiento)	(85)	(48)	(81)
Deficiencia de forma (% del volumen del árbol)	0,9	1,3	0,4
(% de S desperdicios aprovechamiento)	(6)	(19)	(5)
Dimensión insuficiente (% del volumen del árbol)	1,4	2,2	1,0
(% de S desperdicios aprovechamiento)	(9)	(33)	(14)

En el Cuadro 6 se presentan los desperdicios durante el aprovechamiento, de acuerdo a especie arbórea y razón de desperdicio. *C. ianeirensis* (con 15% de desperdicio total durante el aprovechamiento) pierde el doble de madera que *Zanthoxylum* sp. (7,3 %) y más del doble que *H. crepitans* (6,7 %) en el bosque y en el rodeo. Esta desventaja evidente de *C. ianeirensis* se debe sobre todo al alto grado de pérdidas ocasionadas por enfermedad. En el caso de enfermedad, el 95% del volumen se pierde en forma de tronca entera.

La mayor razón de pérdida para las tres especies es por enfermedad. Esto se debe, entre otros, a que los casos de enfermedad siempre afectan la primera troza del fuste y así se pierde una gran parte de volumen del fuste. Las trozas perdidas por deficiencia de forma, así como por dimensión insuficiente, mayormente se encuentran en la parte superior del tronco. Es así que trozas de igual longitud tienen un volumen menor al de los casos de pérdidas por enfermedad.

A diferencia de las otras dos especies, en el caso de *H. crepitans*, el porcentaje de las tres razones de desperdicios está repartido en forma homogénea. Bajo dimensión insuficiente, en el caso de *H. crepitans*, están también incluidas las troncas enteras que son desechadas en el rodeo por no tener un porcentaje suficientemente alto de duramen. Estos casos son responsables del total de desperdicios del tipo dimensión insuficiente.

C. Desperdicios en el aserradero

Se calculó un rendimiento medio para cada especie basándose en los datos obtenidos del aserradero. El rendimiento del aserradero representa la relación entre el volumen del producto final y el volumen de las trozas que han sido aserradas. El porcentaje de desperdicios en el aserradero es la diferencia entre 100% y el rendimiento.

Es necesario considerar que el rendimiento en el aserradero y, por lo tanto, también los desperdicios en el aserradero se basan en el volumen sin corteza de las trozas que llegan al aserradero. Es decir que se basan en el volumen total de la madera descontando la corteza y las pérdidas en el bosque o en el rodeo. Sin embargo, es importante relacionar los valores de desperdicio con el volumen total de madera con corteza y con los desperdicios en el bosque y en el rodeo.

Cuadro 7. Rendimiento y desperdicios en el aserradero para cada una de las especies

	<i>C. ianeirensis</i>	<i>H. crepitans</i>	<i>Zanthoxylum</i> sp.
Rendimiento-aserradero	48	54	30
% del volumen del árbol sin corteza y sin desperdicios (C.V.)	(4)	(11)	(45)
Desperdicios-aserradero	52	46	70
% del volumen del árbol sin corteza y sin desperdicios			
Desperdicios-aserradero	34	37	58
% del volumen del árbol con corteza y con desperdicios			

Para obtener datos representativos de un parámetro, es necesario considerar las condiciones en el lugar de muestreo durante el tiempo que se efectuaron las mediciones.

Los valores de rendimiento para la especie *Zanthoxylum* sp. fueron medidos al iniciarse la producción del aserradero Lago Rey después de dos años de pausa. La gran variación del rendimiento diario (entre 16% a 60%) se debe a las condiciones extraordinarias (nuevo personal, calibración de las maquinas) durante este tiempo. Por lo tanto los valores de rendimiento obtenidos no se consideran representativos en el caso de esta especie.

D. Desperdicio y rendimiento total

El total de desperdicios de madera, es decir el porcentaje de madera que se pierde empezando por el árbol en pie hasta llegar al producto final, equivale a la suma de los porcentajes:

1. de corteza,
2. de desperdicios durante el aprovechamiento y
3. de desperdicios en el aserradero.

El rendimiento total es la diferencia entre el volumen total de madera, como 100%, y el porcentaje total de desperdicios. Es decir que indica cuánto del volumen inicial de un árbol se transforma en producto al final del proceso de producción.

Cuadro 8. Rendimiento y desperdicios totales de cada una de las especies

Tipo de desperdicio (% del volumen del árbol)	<i>C. ianeirensis</i>	<i>H. crepitans</i>	<i>Zanthoxylum</i> sp.
Corteza	19	13	10
Desperdicios durante el aprovechamiento	15	7	7
Desperdicios en el aserradero	34	37	58
Desperdicio total	68	57	75
Rendimiento total = 100 - Desperdicio total	32	43	25

H. crepitans presenta el mayor rendimiento total (43%) entre las tres especies. Sin embargo, haciendo un cálculo de costos y beneficios, es necesario considerar que el duramen es la parte valiosa de esta especie. Esta parte del árbol abarca 62% (C.V.=16 %, n=163) del volumen de madera sin corteza. Según el aserradero, en promedio 58% (C.V.=12 %, n=12) de los productos aserrados están conformados netamente por madera del duramen. El resto está conformado por madera mixta o sólo madera de albura.

Debido a que el rendimiento total incluye el rendimiento del aserradero y que los valores de rendimiento para *Zanthoxylum* sp. no son representativos, el rendimiento total de 25% para *Zanthoxylum* sp. tampoco se puede considerar representativo.

La figura siguiente grafica para cada especie arbórea el porcentaje de desperdicio y las diferentes razones del mismo.

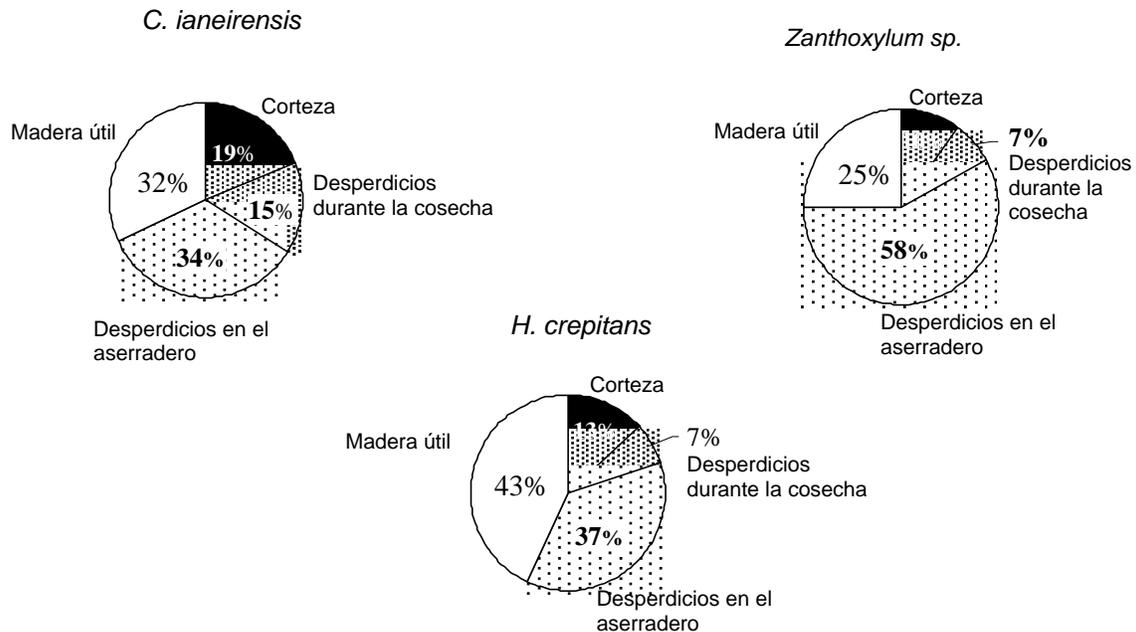


Figura 1: Razones que ocasionan pérdida de volumen y porcentaje del volumen total de madera para las tres especies arbóreas

E. Análisis adicionales

El factor de forma describe la relación entre el volumen de un árbol y un cilindro referencial (con un diámetro igual al DAP y un largo igual al largo del fuste trozado).

De acuerdo a Dauber (2001), la fórmula para calcular el factor de forma para una especie arbórea es:

$$f = \frac{\sum V_i}{\sum \frac{d_i^2 * p}{4} * l_i}$$

donde

- f = factor de forma,
- V_i = volumen del fuste trozado i,
- d_i = DAP del árbol i
- l_i = largo del árbol i

Cuadro 9. Factores de forma

Factor de forma	<i>C. ianeirensis</i>	<i>H. crepitans</i>	<i>Zanthoxylum</i> sp.
<i>f</i>	0,64	0,71	0,72
<i>n</i>	78	31	90

Conclusiones y Recomendaciones

A. Tablas volumétricas

Las muestras de cada una de las especies forestales fueron recolectadas en un lapso de 7 a 14 días paralelamente a los trabajos de aprovechamiento de la empresa. Una consecuencia de este método de muestreo es que la distribución de las muestras se restringe a un área limitada de la concesión respectiva. Por otro lado, el muestreo es representativo del área donde fue aprovechada la madera porque, con excepción de 20% de árboles semilleros, todos los ejemplares maduros fueron aprovechados.

Este tipo de muestreo influye en el uso de las tablas volumétricas (con base en Zöhner [1980]). En áreas cercanas al muestreo, las tablas pueden ser utilizadas para inventarios intensivos y en el resto de la concesión sólo para estimaciones aproximadas del volumen en pie.

Comparar los tres tipos de funciones de volumen usando los ya mencionados cinco criterios: análisis de varianzas (Test de F), coeficiente de determinación (r^2), gráfico de residuos, desviación relativa promedio entre los valores estimados por el modelo y los valores medidos y el Índice de Furnival, fue igualmente difícil para las tres especies debido a las pocas variaciones de estos criterios. Esto significa que no sólo el mejor modelo escogido en el presente trabajo sirve exclusivamente para elaborar tablas volumétricas. Se recomienda comprobar el ajuste de los modelos con mediciones de algunos árboles adicionales en el área de los muestreos.

B. Desperdicio de volumen

Desde el punto de vista económico, así como ecológico, sería interesante poder responder a la pregunta ¿cómo predecir el porcentaje de duramen de *H. crepitans* antes de voltear el árbol? Actualmente en la práctica, los árboles son perforados con la motosierra antes de ser cortados y con base en el color del aserrín, se decide si el porcentaje de duramen es apropiado. Por otra parte, muchas veces sucede que árboles ya tumbados son luego abandonados en el bosque por su bajo nivel de duramen. Los métodos mencionados arriba son, tanto desde el punto de vista económico como ecológico, indeseables porque ocasionan costos improductivos y un impacto negativo en el ecosistema.

Según la experiencia de los trabajadores, el porcentaje de duramen de *H. crepitans* depende del sitio. Este podría ser el punto de partida de investigaciones futuras relacionadas con esta problemática.

El método usado para obtener los porcentajes de aprovechamiento durante el aprovechamiento puede ser perfeccionado, en particular el diseño de muestreo. Este tiene que adaptarse a dos características del parámetro “desperdicios de volumen durante el aprovechamiento”.

1. Enfermedad como principal razón de desperdicio durante el aprovechamiento; probablemente dependiente del sitio. Consecuencia: Para impedir distorsionar los resultados por una tendencia local, se recomienda que el diseño de muestreo se disperse ampliamente por la concesión.
2. Alta variación del porcentaje de desperdicios de árbol a árbol. Consecuencia: Para abarcar esta amplia variación individual, se recomienda considerar un gran número de individuos por especie.

Las recomendaciones hechas en torno al diseño de muestreo podrían ser implementadas trabajando paralelamente con las labores de aprovechamiento de la empresa. Procediendo de este modo, los datos para una especie forestal serían recabados a intervalos de tiempo, por ejemplo, varias veces durante dos o tres días cada dos o tres semanas. De este modo se abarca un área mayor de la concesión. Para calcular el tamaño de muestra necesario se podrían usar como datos pilotos los coeficientes de variación de los diferentes tipos de desperdicios calculados en este trabajo.

Es importante recalcar que los resultados obtenidos con base en datos locales, como es el caso en este trabajo, deben ser aplicados con precaución a áreas mayores.

De acuerdo a la definición usada en este trabajo, desperdicios de volumen son aquellas partes del árbol que le ocasionan costos a la empresa sin que ésta pueda obtener ganancias de las mismas. Por lo tanto los porcentajes de desperdicio calculados con base en esta definición, sólo son validos manteniendo los estándares de aprovechamiento actuales de la empresa. Estos estándares son los que definen qué partes del árbol van a ser beneficiadas y de qué forma. Los estándares actuales de la empresa La Chonta se caracterizan por los siguientes puntos:

- Aprovechamiento de trozas con diámetro mayor a 45 cm y con un porcentaje mínimo de duramen para producir madera aserrada.
- Desperdicios en el aserradero desaprovechados (corteza, desperdicios de madera, aserrín)
- Descarte de trozas podridas, huecas o torcidas.

Modificando estos estándares, el desperdicio de volumen puede ser reducido. Una posible reducción podría efectuarse mediante el aprovechamiento de desperdicios en el aserradero (incluyendo la corteza). Estos desperdicios pueden ser usados, por ejemplo, para generar energía. Si los desperdicios generados por el aserradero, así como la corteza, fueran usados de esta manera, el desperdicio total de madera disminuiría a más de la mitad en el caso de las tres especies estudiadas.

Este trabajo pretende proporcionar alternativas de reducción de desperdicios a través de la identificación y cuantificación de los mismos durante los diferentes pasos productivos. Los datos recabados en este trabajo pueden ser usados en el marco del Proyecto BOLFOR, en cooperación con la empresa forestal, como base para optimizar rendimiento y actualizar funciones de volumen con la incorporación continua de nuevas mediciones.

SECCION V

Anexos

Anexo 1

Tabla de volumen <i>Cariniana ianeirensis</i> (para volumen con corteza)							
DAP [cm]	Vol. [m³]	DAP [cm]	Vol. [m³]	DAP [cm]	Vol. [m³]	DAP [cm]	Vol. [m³]
45	1.29	65	3.01	85	5.56	105	9.03
46	1.36	66	3.11	86	5.71	106	9.23
47	1.43	67	3.22	87	5.87	107	9.43
48	1.50	68	3.34	88	6.02	108	9.63
49	1.57	69	3.45	89	6.18	109	9.84
50	1.65	70	3.56	90	6.34	110	10.05
51	1.72	71	3.68	91	6.50	111	10.26
52	1.80	72	3.80	92	6.67	112	10.47
53	1.88	73	3.92	93	6.84	113	10.68
54	1.97	74	4.05	94	7.01	114	10.90
55	2.05	75	4.18	95	7.18	115	11.12
56	2.14	76	4.30	96	7.35	116	11.35
57	2.23	77	4.43	97	7.53	117	11.57
58	2.32	78	4.57	98	7.71	118	11.80
59	2.41	79	4.70	99	7.89	119	12.03
60	2.50	80	4.84	100	8.07	120	12.26
61	2.60	81	4.98	101	8.26	121	12.50
62	2.70	82	5.12	102	8.45	122	12.74
63	2.80	83	5.27	103	8.64	123	12.98
64	2.90	84	5.41	104	8.83	124	13.22

Anexo 2

Tabla de volumen <i>Cariniana ianeirensis</i> (para volumen sin corteza)							
DAP [cm]	Vol. [m³]	DAP [cm]	Vol. [m³]	DAP [cm]	Vol. [m³]	DAP [cm]	Vol. [m³]
45	1.05	65	2.45	85	4.52	105	7.34
46	1.11	66	2.53	86	4.65	106	7.50
47	1.16	67	2.62	87	4.77	107	7.67
48	1.22	68	2.71	88	4.90	108	7.83
49	1.28	69	2.80	89	5.03	109	8.00
50	1.34	70	2.90	90	5.16	110	8.17
51	1.40	71	2.99	91	5.29	111	8.34
52	1.47	72	3.09	92	5.42	112	8.51
53	1.53	73	3.19	93	5.56	113	8.69
54	1.60	74	3.29	94	5.70	114	8.87
55	1.67	75	3.40	95	5.84	115	9.05
56	1.74	76	3.50	96	5.98	116	9.23
57	1.81	77	3.61	97	6.12	117	9.41
58	1.88	78	3.71	98	6.27	118	9.60
59	1.96	79	3.82	99	6.42	119	9.78
60	2.04	80	3.94	100	6.57	120	9.97
61	2.11	81	4.05	101	6.72	121	10.16
62	2.19	82	4.17	102	6.87	122	10.36
63	2.28	83	4.28	103	7.03	123	10.55
64	2.36	84	4.40	104	7.18	124	10.75

Anexo 3

Tabla de volumen <i>Hura crepitans</i> (para volumen con corteza)							
DAP [cm]	Vol. [m ³]	DAP [cm]	Vol. [m ³]	DAP [cm]	Vol. [m ³]	DAP [cm]	Vol. [m ³]
70	3.84	105	8.25	140	16.01	175	27.13
71	3.92	106	8.42	141	16.28	176	27.50
72	4.00	107	8.60	142	16.56	177	27.87
73	4.08	108	8.78	143	16.83	178	28.24
74	4.17	109	8.96	144	17.11	179	28.62
75	4.26	110	9.15	145	17.40	180	29.00
76	4.35	111	9.34	146	17.68	181	29.38
77	4.45	112	9.53	147	17.97	182	29.76
78	4.55	113	9.73	148	18.26	183	30.15
79	4.65	114	9.92	149	18.55	184	30.54
80	4.75	115	10.12	150	18.85	185	30.93
81	4.86	116	10.33	151	19.15	186	31.32
82	4.97	117	10.53	152	19.45	187	31.72
83	5.08	118	10.74	153	19.75	188	32.12
84	5.20	119	10.95	154	20.06	189	32.52
85	5.32	120	11.16	155	20.37	190	32.93
86	5.44	121	11.38	156	20.68	191	33.34
87	5.56	122	11.60	157	21.00	192	33.75
88	5.69	123	11.82	158	21.31	193	34.16
89	5.81	124	12.05	159	21.63	194	34.58
90	5.95	125	12.27	160	21.96	195	35.00
91	6.08	126	12.50	161	22.28	196	35.42
92	6.22	127	12.74	162	22.61	197	35.84
93	6.36	128	12.97	163	22.94	198	36.27
94	6.50	129	13.21	164	23.28	199	36.70
95	6.64	130	13.45	165	23.61	200	37.13
96	6.79	131	13.69	166	23.95	201	37.57
97	6.94	132	13.94	167	24.30	202	38.01
98	7.10	133	14.19	168	24.64	203	38.45
99	7.25	134	14.44	169	24.99	204	38.89
100	7.41	135	14.70	170	25.34	205	39.34
101	7.57	136	14.95	171	25.69	206	39.79
102	7.74	137	15.22	172	26.05	207	40.24
103	7.90	138	15.48	173	26.41	208	40.70
104	8.07	139	15.74	174	26.77	209	41.15

Anexo 4

Tabla de volumen <i>Hura crepitans</i> (para volumen sin corteza)							
DAP [cm]	Vol. [m ³]	DAP [cm]	Vol. [m ³]	DAP [cm]	Vol. [m ³]	DAP [cm]	Vol. [m ³]
70	3.32	105	7.13	140	13.85	175	23.47
71	3.39	106	7.28	141	14.08	176	23.78
72	3.46	107	7.44	142	14.32	177	24.10
73	3.53	108	7.59	143	14.56	178	24.43
74	3.61	109	7.75	144	14.80	179	24.75
75	3.69	110	7.91	145	15.04	180	25.08
76	3.77	111	8.08	146	15.29	181	25.41
77	3.85	112	8.24	147	15.54	182	25.74
78	3.93	113	8.41	148	15.79	183	26.07
79	4.02	114	8.58	149	16.04	184	26.41
80	4.11	115	8.75	150	16.30	185	26.75
81	4.20	116	8.93	151	16.56	186	27.09
82	4.30	117	9.11	152	16.82	187	27.43
83	4.40	118	9.29	153	17.08	188	27.78
84	4.50	119	9.47	154	17.35	189	28.13
85	4.60	120	9.65	155	17.62	190	28.48
86	4.70	121	9.84	156	17.89	191	28.83
87	4.81	122	10.03	157	18.16	192	29.19
88	4.92	123	10.22	158	18.43	193	29.54
89	5.03	124	10.42	159	18.71	194	29.90
90	5.14	125	10.61	160	18.99	195	30.27
91	5.26	126	10.81	161	19.27	196	30.63
92	5.38	127	11.01	162	19.56	197	31.00
93	5.50	128	11.22	163	19.84	198	31.37
94	5.62	129	11.42	164	20.13	199	31.74
95	5.75	130	11.63	165	20.42	200	32.12
96	5.87	131	11.84	166	20.72	201	32.49
97	6.00	132	12.06	167	21.01	202	32.87
98	6.14	133	12.27	168	21.31	203	33.25
99	6.27	134	12.49	169	21.61	204	33.64
100	6.41	135	12.71	170	21.92	205	34.02
101	6.55	136	12.93	171	22.22	206	34.41
102	6.69	137	13.16	172	22.53	207	34.80
103	6.84	138	13.39	173	22.84	208	35.20
104	6.98	139	13.62	174	23.15	209	35.59

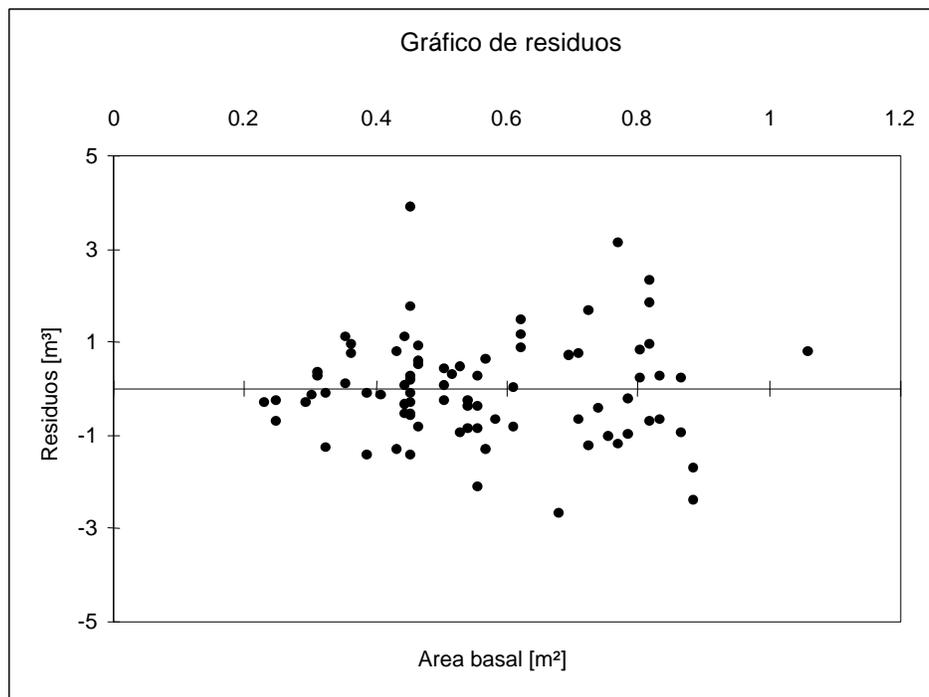
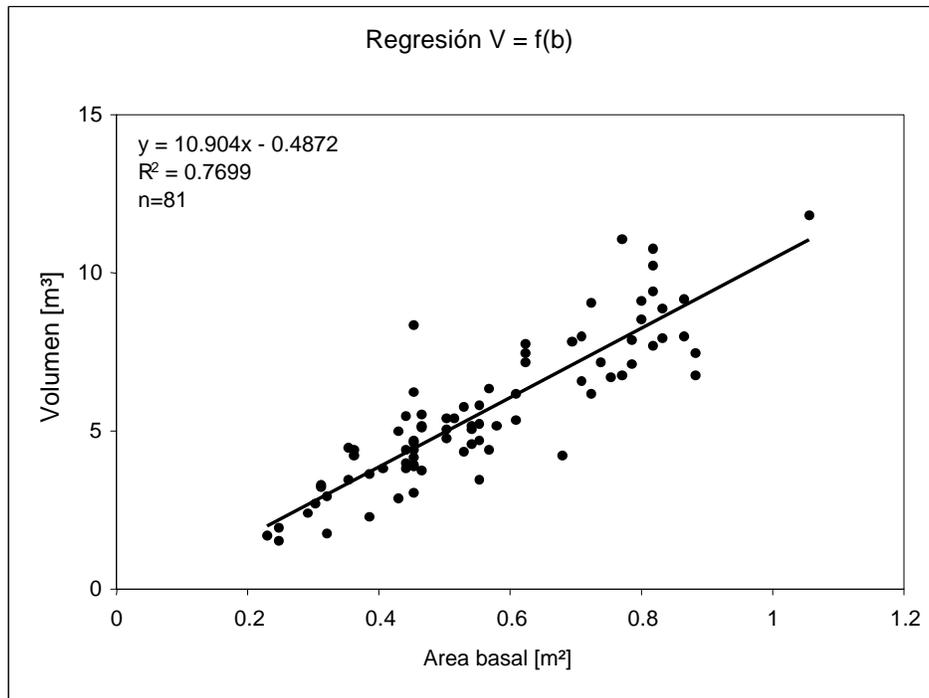
Anexo 5

Tabla de volumen <i>Zanthoxylum sp.</i> (para volumen con corteza)							
DAP [cm]	Vol. [m ³]	DAP [cm]	Vol. [m ³]	DAP [cm]	Vol. [m ³]	DAP [cm]	Vol. [m ³]
41	1.96	56	2.50	71	3.97	86	6.38
42	1.97	57	2.57	72	4.10	87	6.57
43	1.98	58	2.64	73	4.24	88	6.77
44	1.99	59	2.72	74	4.38	89	6.97
45	2.01	60	2.80	75	4.52	90	7.18
46	2.04	61	2.88	76	4.67	91	7.39
47	2.06	62	2.97	77	4.82	92	7.60
48	2.09	63	3.07	78	4.98	93	7.82
49	2.13	64	3.17	79	5.14	94	8.04
50	2.17	65	3.27	80	5.30	95	8.27
51	2.21	66	3.37	81	5.47	96	8.50
52	2.26	67	3.49	82	5.64	97	8.73
53	2.32	68	3.60	83	5.82	98	8.97
54	2.37	69	3.72	84	6.00	99	9.22
55	2.43	70	3.84	85	6.19	100	9.47

Tabla de volumen <i>Zanthoxylum sp.</i> (para volumen sin corteza)							
DAP [cm]	Vol. [m ³]	DAP [cm]	Vol. [m ³]	DAP [cm]	Vol. [m ³]	DAP [cm]	Vol. [m ³]
41	1.77	56	2.26	71	3.59	86	5.77
42	1.78	57	2.32	72	3.71	87	5.94
43	1.79	58	2.39	73	3.83	88	6.12
44	1.80	59	2.46	74	3.96	89	6.31
45	1.82	60	2.53	75	4.09	90	6.49
46	1.84	61	2.61	76	4.22	91	6.68
47	1.87	62	2.69	77	4.36	92	6.88
48	1.89	63	2.78	78	4.50	93	7.07
49	1.93	64	2.86	79	4.65	94	7.28
50	1.96	65	2.96	80	4.80	95	7.48
51	2.00	66	3.05	81	4.95	96	7.69
52	2.05	67	3.15	82	5.10	97	7.90
53	2.09	68	3.26	83	5.27	98	8.12
54	2.15	69	3.36	84	5.43	99	8.34
55	2.20	70	3.48	85	5.60	100	8.56

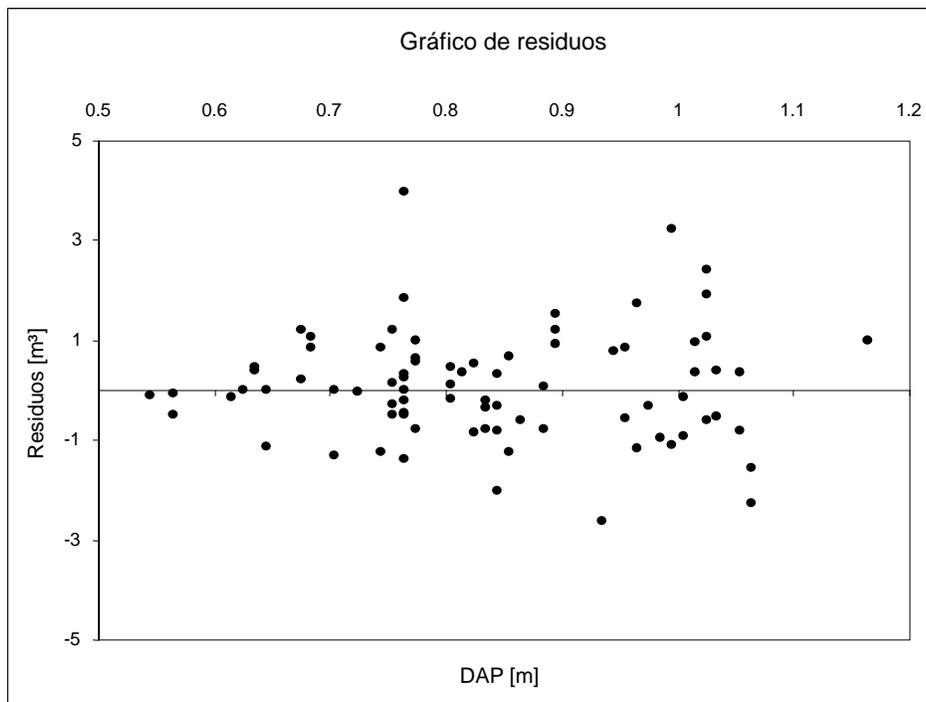
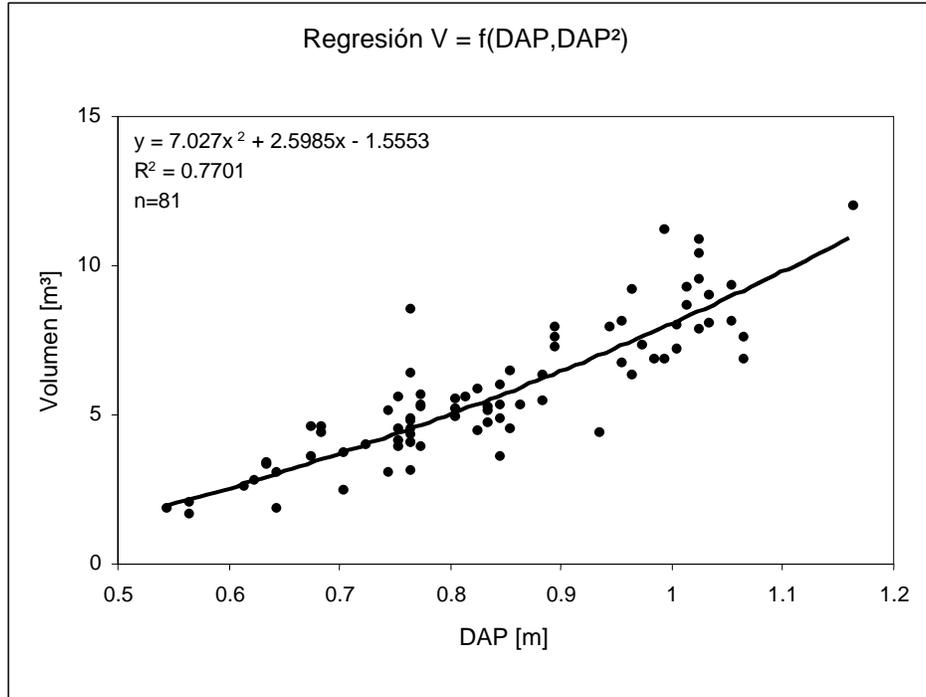
Anexo 6

C. ianeirensis: modelo lineal con gráfico de residuos



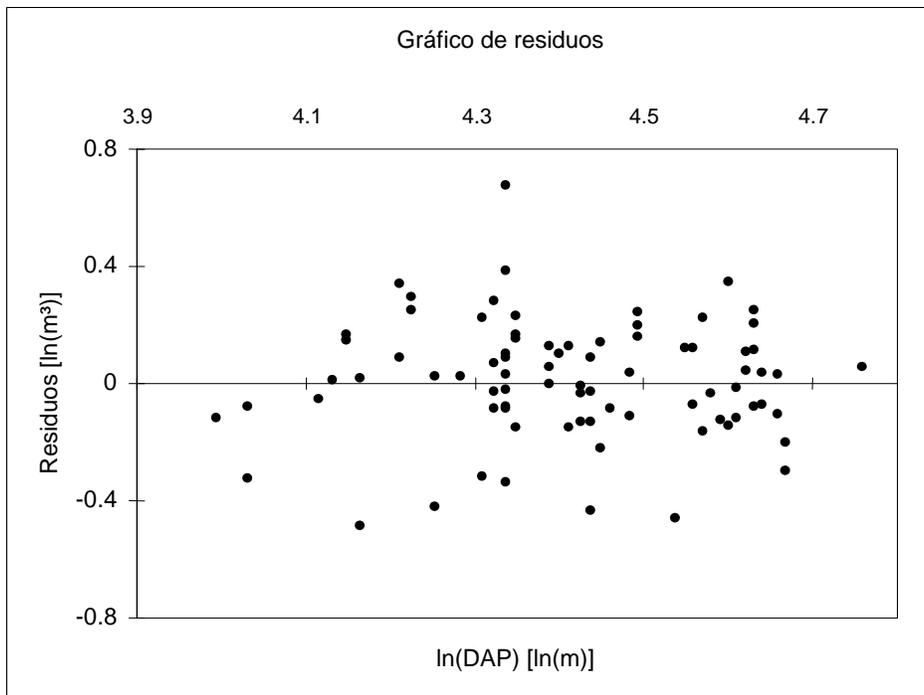
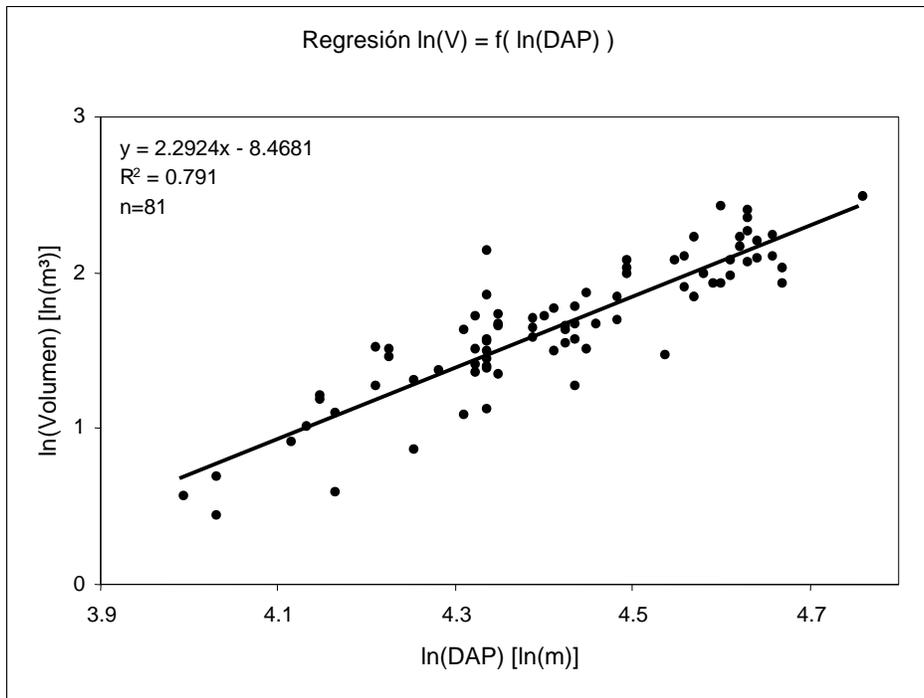
Anexo 7

C. ianeirensis: modelo parabólico con gráfico de residuos



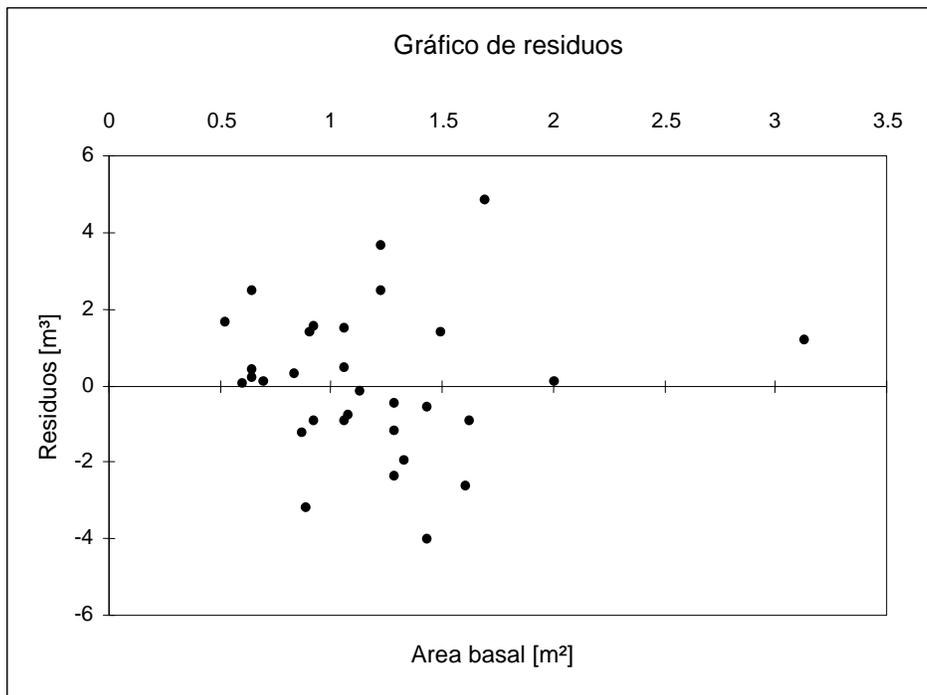
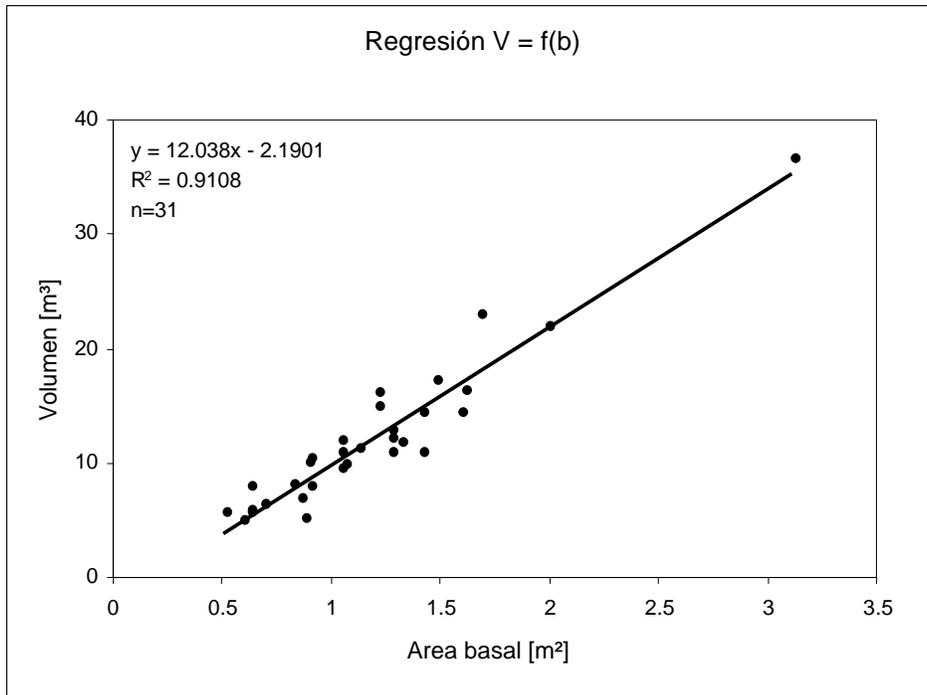
Anexo 8

C. ianeirensis: modelo logarítmico-lineal con gráfico de residuos



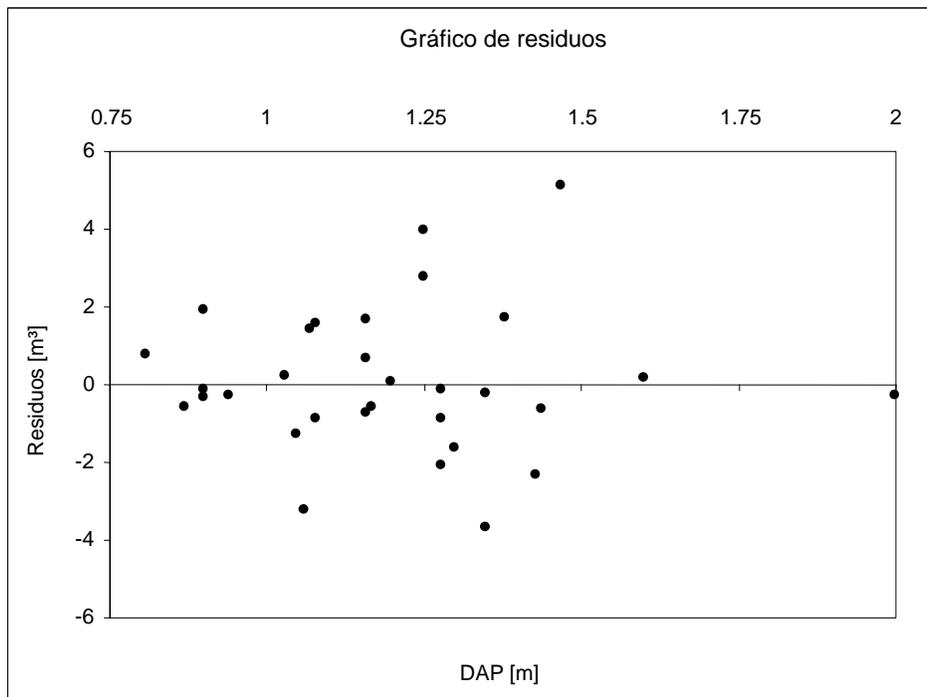
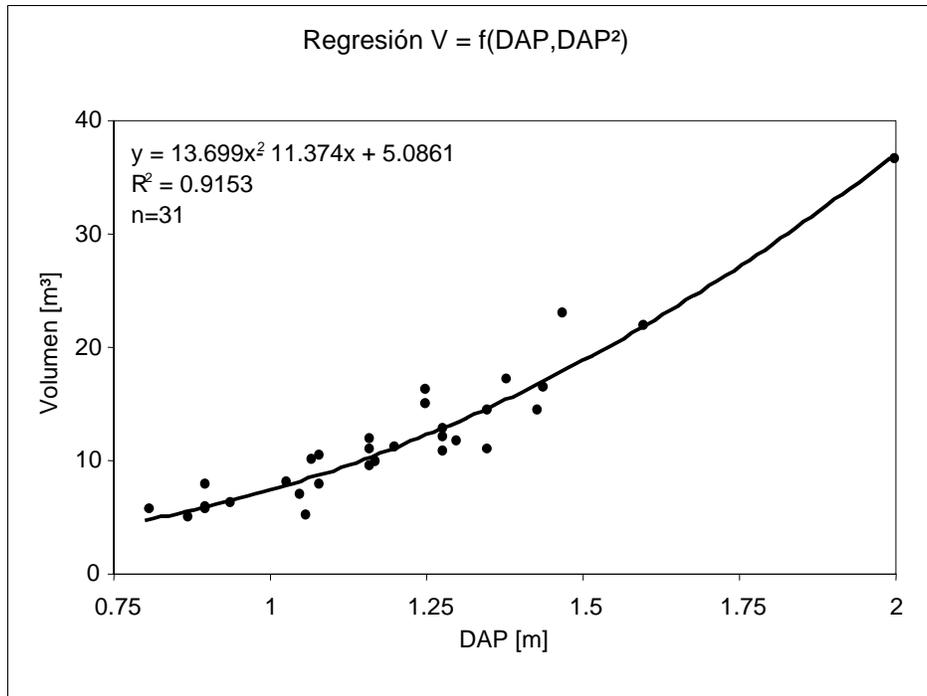
Anexo 9

H. crepitans: modelo lineal con gráfico de residuos



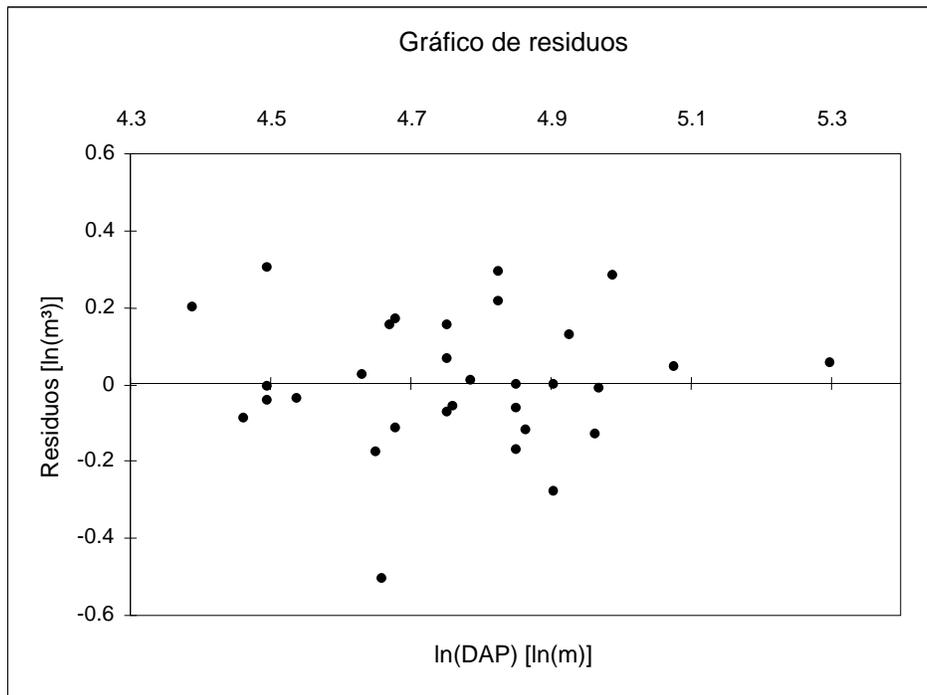
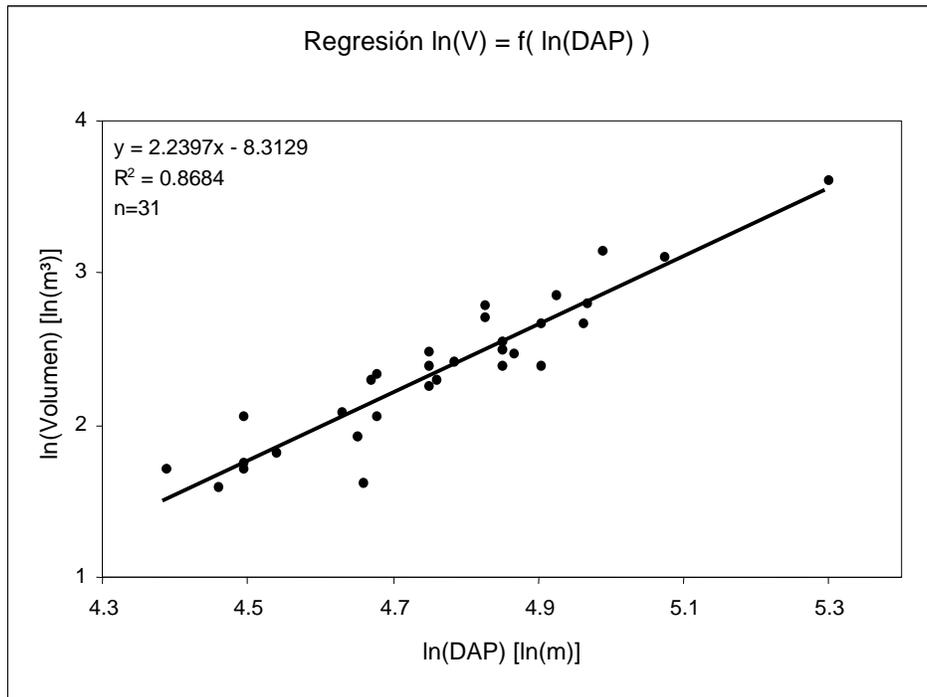
Anexo 10

H. crepitans: modelo parabólico con gráfico de residuos



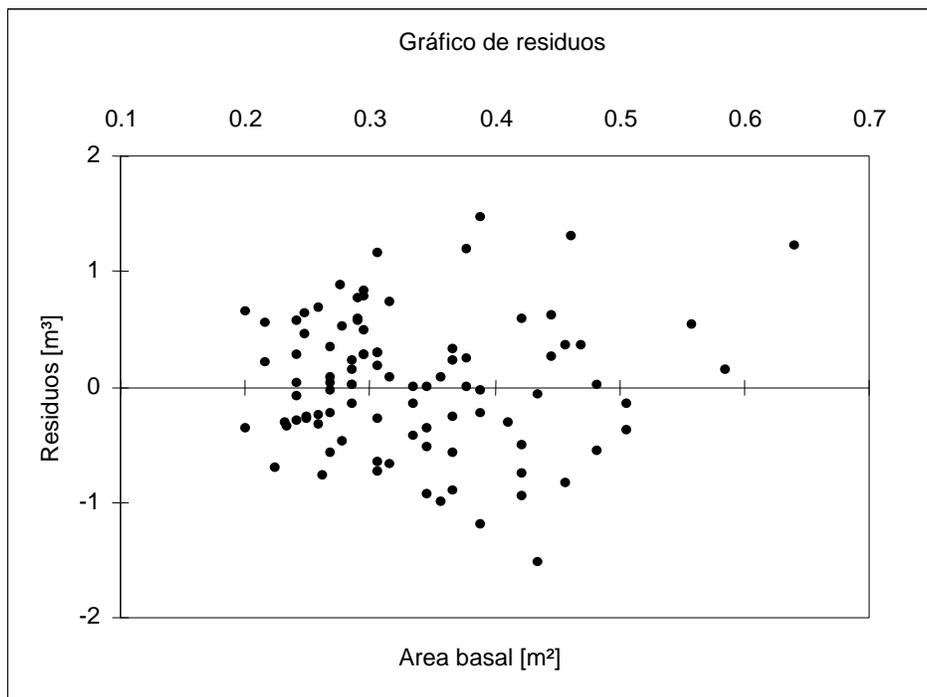
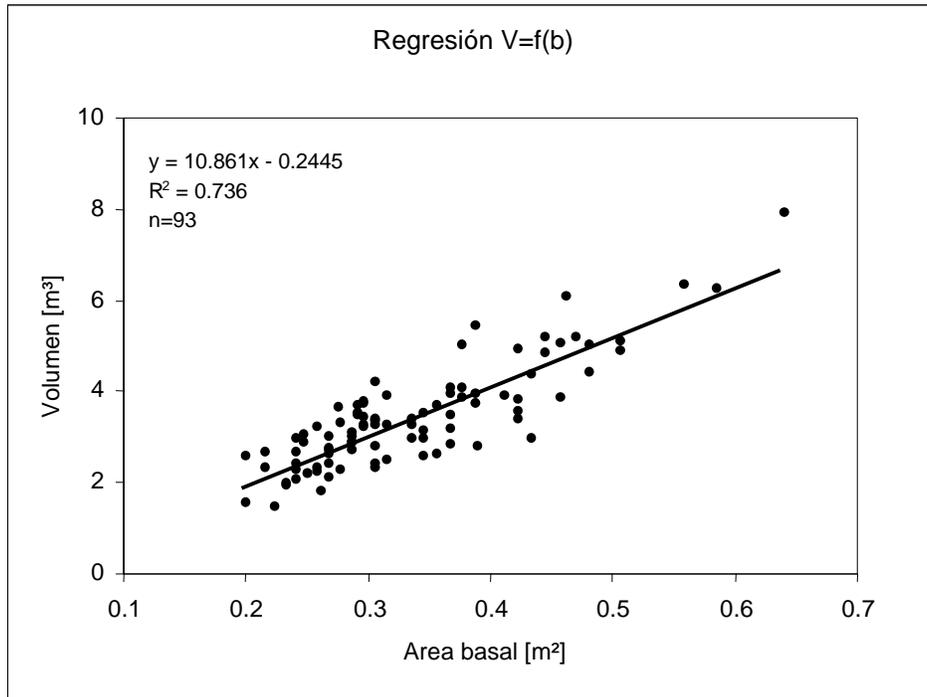
Anexo 11

H. crepitans: modelo logarítmico-lineal con gráfico de residuos



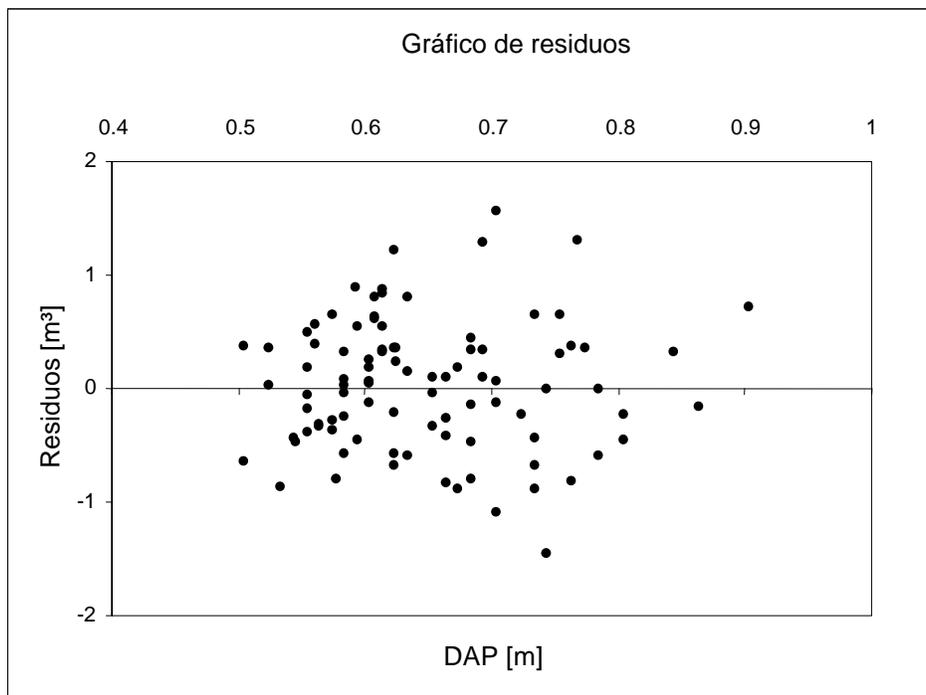
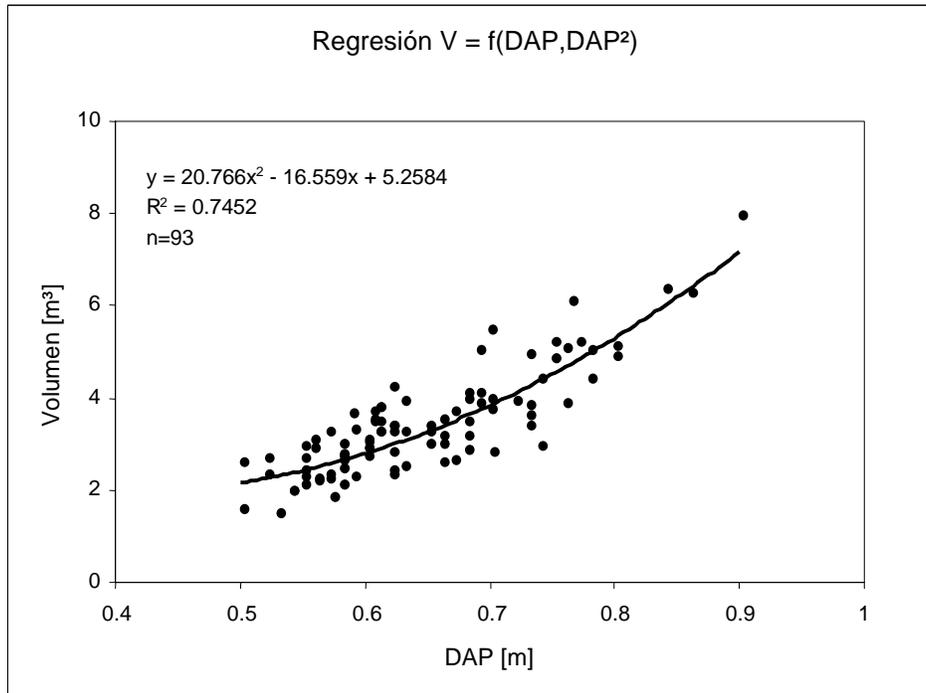
Anexo 12

Zanthoxylum sp.: modelo lineal con gráfico de residuos



Anexo 13

Zanthoxylum sp.: modelo parabólico con gráfico de residuos



Anexo 14

Zanthoxylum sp.: modelo logarítmico-lineal con gráfico de residuos

